



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

IDA's Energy Vision 2050

A Smart Energy System strategy for 100% renewable Denmark

Mathiesen, Brian Vad; Lund, Henrik; Hansen, Kenneth; Ridjan, Iva; Djørup, Søren Roth; Nielsen, Steffen; Sorknæs, Peter; Thellufsen, Jakob Zinck; Grundahl, Lars; Lund, Rasmus Søgaard; Drysdale, Dave; Connolly, David; Østergaard, Poul Alberg

Publication date:
2015

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Mathiesen, B. V., Lund, H., Hansen, K., Ridjan, I., Djørup, S. R., Nielsen, S., Sorknæs, P., Thellufsen, J. Z., Grundahl, L., Lund, R. S., Drysdale, D., Connolly, D., & Østergaard, P. A. (2015). *IDA's Energy Vision 2050: A Smart Energy System strategy for 100% renewable Denmark*. Department of Development and Planning, Aalborg University.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

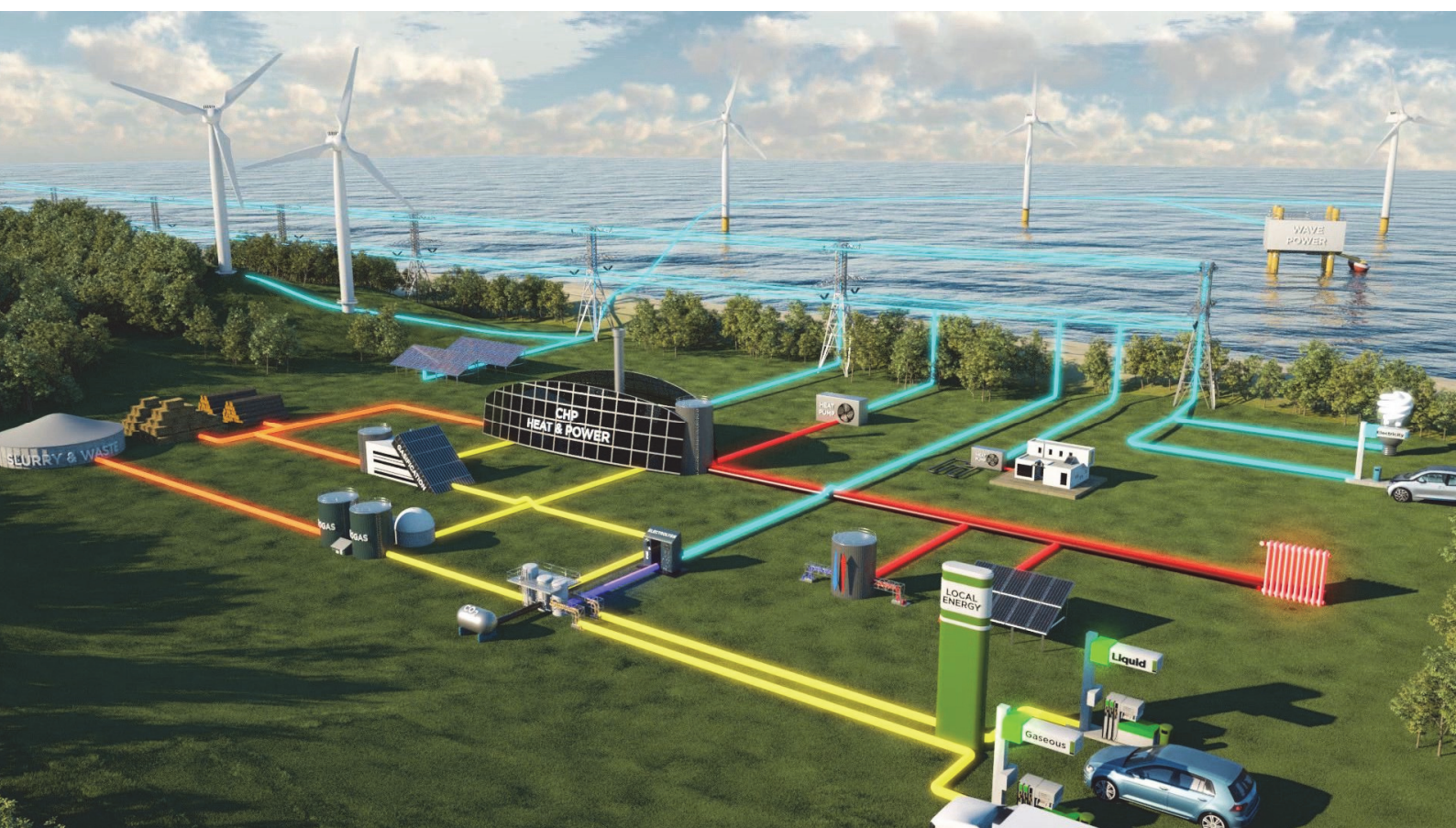
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Sammenfatning

IDA's Energivision 2050

Et intelligent 100% vedvarende energisystem for Danmark



Sammenfatning

IDAs Energivision 2050

Et intelligent 100% vedvarende energisystem

© Forfatterne:

Brian Vad Mathiesen

Henrik Lund

Kenneth Hansen

Iva Ridjan

Søren Djørup

Steffen Nielsen

Peter Sorknæs

Jakob Zinck Thellufsen

Lars Grundahl

Rasmus Lund

David Drysdale

David Connolly

Poul Alberg Østergaard

Aalborg Universitet, Institut for Planlægning

Publiceret af:

Institut for Planlægning

Aalborg Universitet

Vestre Havnepromenade 5

9000 Aalborg

Danmark

Print: IDAs Printcenter

ISBN: 978-87-91404-78-8

Forside: Screenshot fra videoen:

“Smart Energy Systems: 100% Renewable Energy at a National Level”.

Videoen er baseret på forskning på Aalborg Universitet

(www.smartenergysystems.eu). Produceret af Blue Planet Innovation

Denne rapport er udarbejdet og redigeret af forskere fra Aalborg Universitet.

Redaktionen er ansvarlig for rapportens resultater og konklusioner.

Rapporten er bestilt af Ingeniørforeningen, IDA.

Arbejdet er blevet fulgt af en følgegruppe fra IDA:

Anders Dyrelund, IDA Energi

Hans Jørgen Brodersen, IDA Teknologivurdering

Kurt Emil Eriksen, IDA Byg

Leif Amby, IDAs Erhvervs- og vækstudvalg

Michael Søgaard Jørgensen, IDA Grøn Teknologi

Martin Kyed, IDA

Pernille Hagedorn-Rasmussen, IDA



IDAS Energivision 2050

Dette er IDAs Energivision 2050. Med visionen sætter vi fokus på, hvordan en intelligent integration af el-, varme- og gas- og transportsektorerne kan skabe en robust energiforsyning for Danmark i fremtiden, som er baseret på vedvarende energi.

IDAS Energivision er et oplæg til debat. Fordi vi ønsker en debat i Danmark om, hvordan vi når de politiske mål om at gøre os fri af de fossile brændsler. Vi ser samtidig omstillingen af energisystemet som en spændende mulighed for borgere og virksomheder. Med den intelligente forandring af energisystemet skabes også en retning, der kan initiere eksport og arbejdspladser, som kommer os alle til gode.

Vi har et særligt ansvar for at se på energisystemet ud fra et teknologisk perspektiv. Hvor står vi i dag og hvad kan vi forvente af fremtidens energiteknologier? Fluktuerende produktion af energi fra vind og sol præger allerede nu vores energisystem, og det er en forandring, der er kommet for at blive. Heldigvis kan de intelligente løsninger spille sammen i smarte systemer, der bruger sensorteknologi og automatisering til skabe dynamik mellem produktion og forbrug.

En væsentlig konklusion fra IDAs Energivision er, at vi skal holde op med at tænke i sektorer og begynde at tænke i samspil. Der er en stor fordel at høste, hvis vi tænker det som et samlet system med udveksling mellem sektorer som industri, transport, husholdninger og bygninger. El-baseret energiforbrug skal spille en mere central rolle i fremtidens energiforbrug både hos de enkelte husejere og hos virksomhederne. Vi skal vænne os til at tænke, at det samlede energiforbrug skal falde i Danmark, men at vores elforbrug gerne må stige.

IDAS Energivision 2050 bygger videre på arbejdet i IDAs Klimaplan 2050 (2009) og IDAs Energiplan 2030 (2006). Den er baseret på bidrag og input fra IDAs fagtekniske selskaber samt Aalborg Universitets mangeårige arbejde med energisystemanalyse. Jeg vil gerne sige tak alle, som har bidraget til IDAs Energivision 2050. Jeg håber, den teknologiske stemme må blive et værdifuldt bidrag til diskussionen om, hvordan Danmark udvikler et robust energi-system baseret på vedvarende energi i årene frem mod 2050.

Med venlig hilsen

Frida Frost

Formand

Ingeniørforeningen IDA



Sammenfatning

Dette er en sammenfatning af rapporten IDAs Energivision 2050 – Et intelligent 100 % vedvarende energisystem. Danmark har et langsigtet mål om en energiforsyning baseret på 100 % vedvarende energi i 2050. Med IDAs Energivision 2050 ønsker Ingeniørforeningen at bidrage til den vigtige debat om, hvordan vi realiserer dette mål.

IDAs Energivision 2050 viser, at 1) det er teknisk muligt og inden for økonomisk rækkevidde at gå over til 100% vedvarende energi, 2) et integreret energisystemdesign kan skabe et mere robust og fleksibelt system, og 3) der er potentiale for at skabe flere jobs end i et energisystem baseret på fossile brændsler, ligesom der er færre helbredsrelaterede udgifter som følge af emissioner fra energiforsyningen.

Konceptet Smart Energy Systems

IDAs Energivision 2050 er baseret på konceptet Smart Energy Systems, som går ud på, at hvis man vil finde de bedste og de billigste løsninger, må man se på hele energiforsyningen i sin helhed. Det er, når man tænker på tværs af el-, varme-, køle-, gas-, biomasse og transportsektoren, at man bedst og billigst kan integrere den store mængde fluktuerende energi i fremtidens vedvarende energiforsyning.

De to hovedformer for energiproduktion er bioenergi og fluktuerende vedvarende energikilder såsom sol og vind. Bioenergi er en direkte erstatning for fossile brændsler, idet den har mange af de samme egenskaber og findes i forskellige former, men i et system baseret 100 % på vedvarende energi er biomasse en knap ressource, og det aktuelle forbrug af fossile brændsler kan ikke dækkes af biomasse alene. Der findes flere fluktuerende vedvarende energikilder, men de er en udfordring, fordi produktionen varierer. Derfor er to af hovedpunkterne i Smart Energy Systems-konceptet dels at tilgodese store mængder fluktuerende vedvarende energi, dels at begrænse bioenergiressourcen til et bæredygtigt niveau.

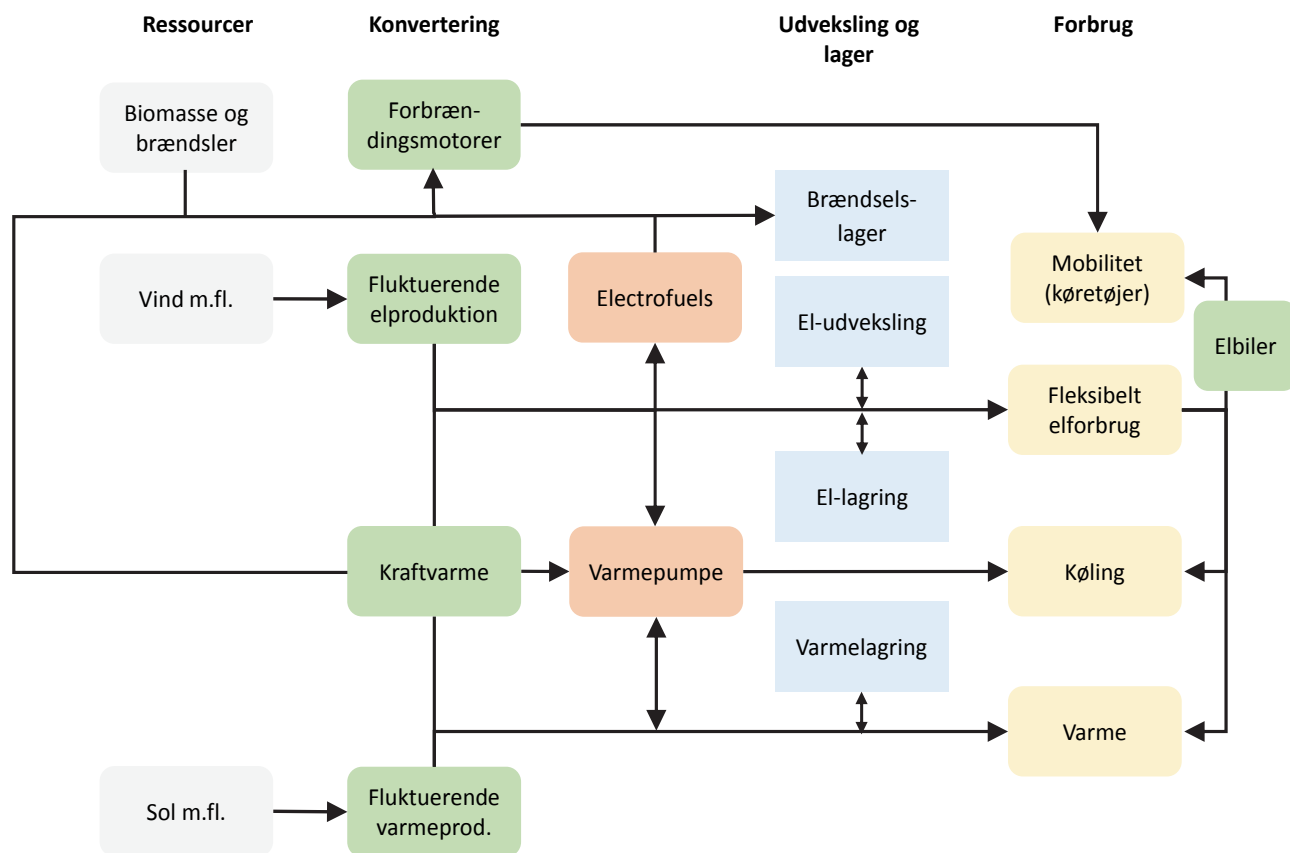
Et smart energisystem består af nye teknologier og infrastrukturer, som skaber nye former for fleksibilitet, primært i energisystemets 'konverteringsfase'. Kort fortalt går det ud på at kombinere el-, transport- og varmesektoren, således at fleksibiliteten på tværs af disse forskellige områder kan kompensere for den manglende fleksibilitet ved de vedvarende ressourcer såsom sol og vind. Det smarte energisystem er bygget op omkring tre netinfrastrukturer:

Smarte el-net, som skal slå bro mellem fleksible elbehov i form af f.eks. varmepumper og elbiler og de fluktuerende vedvarende ressourcer såsom vind- og solenergi.

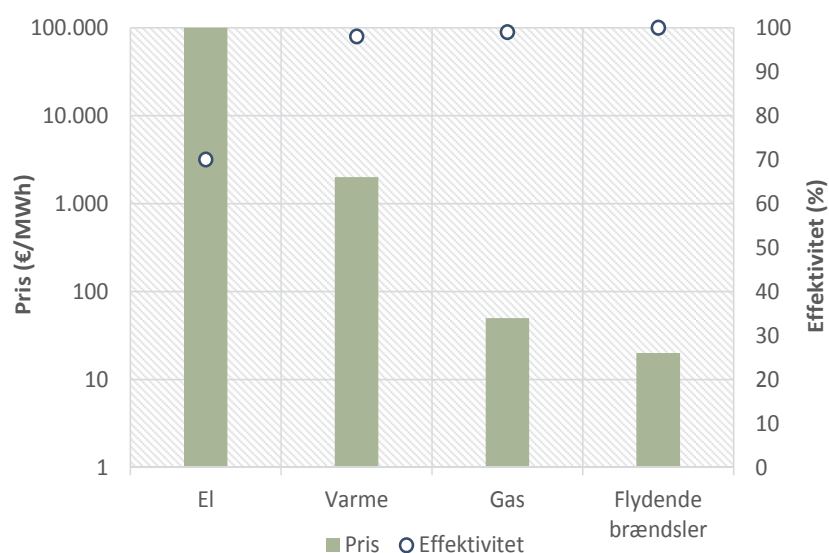
Smarte varmforsyningsnet (fjernvarme og -køling), som skal forbinde el- og varmesektoren. Dette muliggør varmelagring, hvilket giver yderligere fleksibilitet og kan genbruge varmetab i energisystemet.

Smarte gas-net, som skal forbinde el-, varme- og transportsektoren. På den måde kan gaslagring bruges til at skabe yderligere fleksibilitet. Hvis gassen raffineres til flydende brændsel, kan flydende brændselslagre også benyttes.

Baseret på disse grundlæggende infrastrukturer defineres **Smart Energy Systems** som en tilgang, hvor smarte el-, varme- og gas-net kombineres med lagringsteknologier og koordineres for at finde frem til synergier mellem dem, således at den optimale løsning findes for hver enkelt sektor samt for det overordnede energisystem. Figur 1 og Figur 2 illustrerer den overordnede struktur for et 100% vedvarende energisystem og forskellige lagringsmuligheder sammenholdt med omkostninger til teknologiinvesteringer.



Figur 1. Smart Energy System struktur.



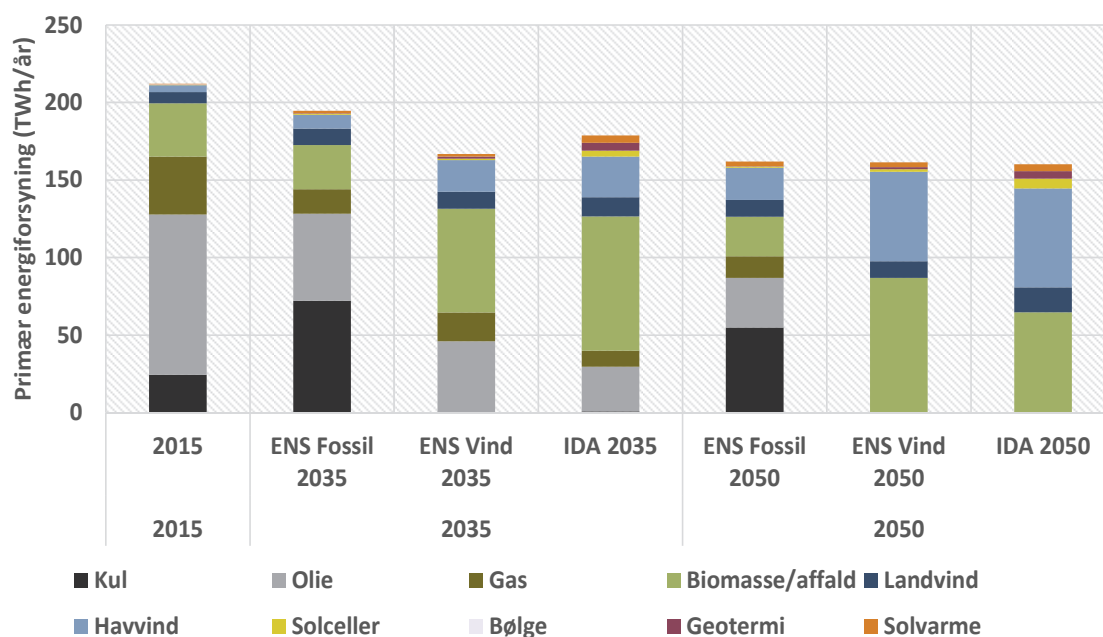
Figur 2. Investeringsomkostninger og effektivitet sammenlignet for forskellige energilagringsteknologier

IDAS Energivision fremsætter et scenarie og en køreplan for implementeringen af målsætningen om et 100 % vedvarende energisystem i 2050, herefter kaldet *IDA 2050*. For at kunne vurdere de økonomiske og miljømæssige konsekvenser er scenariet blevet sammenlignet med to scenarier offentliggjort af Energistyrelsen (ENS). *ENS Fossil 2050*-scenariet repræsenterer et system som det nuværende, dvs. primært baseret på fossile brændsler, mens *ENS Vind 2050*-scenariet repræsenterer, hvad man kunne kalde et konsensus-scenarie over den nuværende strategi for implementering af 2050-målsætningen om 100 % vedvarende energi. Alle scenarierne er også beskrevet i et 2035-trin med udgangspunkt i det aktuelle 2015-energisystem.

Visionen bygger på to tidligere energistrategier fra IDA, nemlig *IDAS Energiplan 2030* fra 2006 og *IDAS Klimaplan 2050* fra 2009. Begge planer har allerede givet vigtige inputs til den danske energipolitik.

100 % vedvarende energi er teknisk muligt

IDAS Energivision 2050 viser, at et system baseret på 100 % vedvarende energi er teknisk og fysisk muligt for Danmark. Det er desuden økonomisk hensigtsmæssigt sammenlignet med det fossile brændselsenergisystem. I Figur 3 vises det primære energiforbrug i hhv. IDA 2035 og IDA 2050. I IDA 2050 falder den samlede primærenergiforsyning fra sit nuværende leje på ca. 200 TWh til 160 TWh i 2050. Figur 3 anskueliggør desuden primærenergiforsyningen i hhv. det nuværende energisystem og i Energistylens scenarier.



Figur 3: Primær energiforsyning i 2035 and 2050 i IDAs Energivision, i 2015 og i ENS scenarierne

Grundlaget i fremtidens energisystem vil være svingende vedvarende elektricitet såsom landvindkraft, offshorevindkraft, solcelle- og bølgeenergi. Mere end 60 % af primærenergiforsyningen stammer fra svingende vedvarende el-kilder, hvilket kræver en kolossal fleksibilitet i energisystemet som sådan samt i el-nettet. I fjernvarmenettet optages lavtemperaturvarme fra vedvarende energikilder også i form af sol- og jordvarme. Inklusive de enkelte solvarmekilder dækkes i alt 8 % af primærenergiforsyningen af svingende vedvarende energi, der bruges direkte i varmesektoren.

Der implementeres afgørende fleksibilitet i energisystemet mellem produktionen af den vedvarende energi på den ene side og efterspørgslen på energitjenester på den anden. IDAs Energivision udnytter lagringerne mellem produktion og slutbrugerbehov for at kunne balancere ressourcerne og give et omkostningseffektivt system.

Der implementeres markante besparelser for slutbrugerne i private husholdninger, industri og virksomheder, mens den økonomiske vækst opretholdes. Elbesparelser implementeres i alle sektorer, mens der implementeres afgørende varmebesparelser i de eksisterende bygninger kombineret med planlagte renoveringer og forbedringer indtil 2050. Nybyggeri og varmebesparelser i eksisterende bygninger udføres på en måde, der styrker balancen mellem omkostningerne ved produktion af lavtemperaturvarme på den ene side og forbedring af klimaskærmen på den anden. I industrisektoren har man brugt den eksisterende viden om slutforbudgets karakter til at spare el og brændsler.

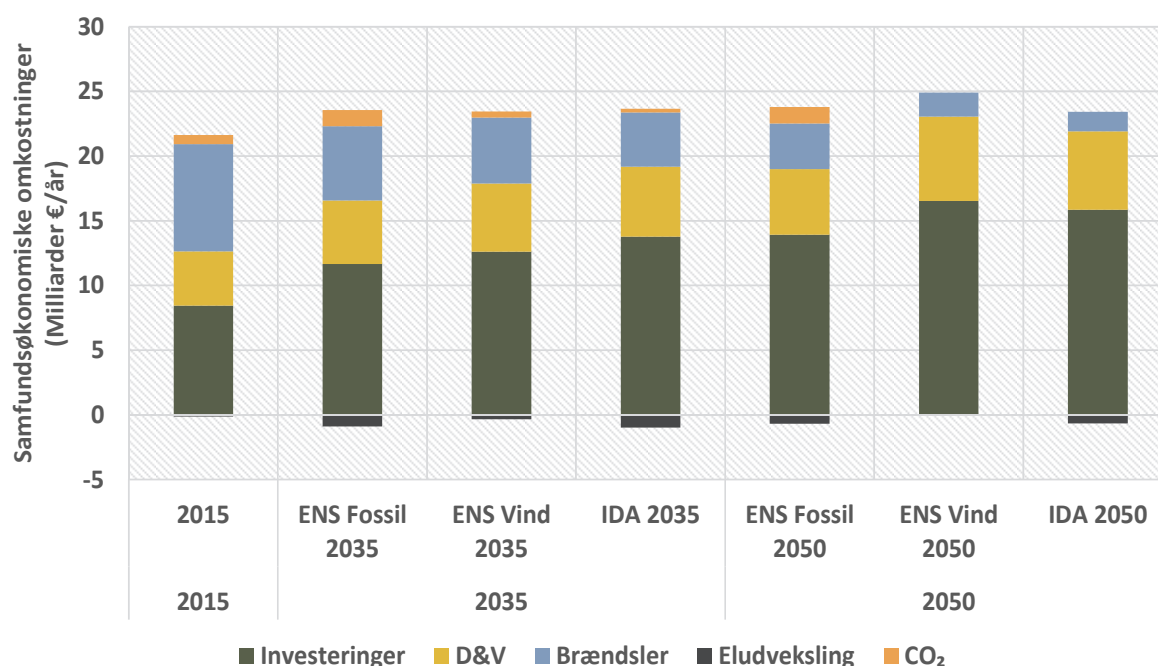
I IDAs Energivision 2050 dækkes en markant del af transportbehovet af batteridrevne køretøjer, opladelige hybridkøretøjer, elektriske sporvogne og tog samt varevogne og busser, der kører på elektricitet. Det er en stor udfordring at opfylde behovet for tunge transportmidler såsom lastvogne, skibe og fly, både hvad angår omkostninger og bioenergiressourcer. Behovet dækkes af *electrofuels*¹. Investeringer i skinner og ladestationer til elektriske køretøjer og anden transportinfrastruktur er afgørende for de forudsatte modalskift. I IDAs Energivision er væksten i transportbehovet fordelt anderledes end i Energistyrelsens scenarier.

Som vist i Figur 3, bekræfter Energistyrelsens scenarier, at det er muligt at overgå til 100 % vedvarende energi i 2050. Imidlertid har IDAs Energivision et lavere biomasseforbrug baseret på modelberegningerne i denne rapport vedrørende brændselspriser og eludveksling og -handel. Ifølge IDA 2050 er det muligt at nedbringe biomasseforbruget fra niveauet i ENS Vind 2050-scenariet på ca. 300 PJ til 235 PJ. Replikeringen af ENS Vind 2050-scenariet viser et biomasseforbrug på 250-300 PJ, og med samme brændselspriser som hos Energistyrelsen rammer replikationen et niveau omkring 250 PJ, hvilket stemmer overens med Energistyrelsens rapport.

Et smart 100 % vedvarende energisystem er muligt

I analyserne af omkostningerne ved overgangen til 100 % vedvarende energi er udgifterne ved hver enkelt teknologi blevet vurderet nøje og implementeret i visionen. Figur 4 illustrerer omkostningerne forbundet med IDA 2050 samt de andre energisystemer. I udgiftssammenligningen er investeringerne beregnet pro anno baseret på den tekniske levetid og en rentesats på 3 %. Brændselsomkostningerne svarer til en oliepris på 105\$/tønden. Dette er et gennemsnit af olieprisniveauet i juni 2015 (62\$/tønden) og Energistyrelsens anbefalede niveau fra december 2014 for langtidsplanlægning i 2035 (148\$/tønden). De samlede udgifter inkluderer desuden indtægter fra elhandel samt drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. En gennemsnitspris på det internationale elmarked på 77€/MWh bruges som mellemniveau ud af i alt 10 prisniveauer. Det er det niveau, som Energistyrelsen anbefaler til analyser af år 2035. De samlede udgifter giver et overordnet indblik i, hvilke udgifter der er forbundet med den aktuelle danske energisektor – herunder transport – samt fremtidig potentiel energiforsyning i IDA 2050, i 2015, i IDA 2035 og i ENS-scenariet. Sidstnævnte er blevet rekonstrueret, og de heri inkluderede udgifter er baseret på de samme principper som udgifterne i analyserne i IDA 2035 og IDA 2050.

¹ Electrofuels repræsenterer brændselsproduktion gennem kombineret anvendelse af elektrolysatorer med carbonkilde. Hvis carbonkilden er CO₂-emissioner, bruges termen CO₂-electrofuel. Hvis carbonkilden stammer fra forgasning af biomasse, bruges termen bioelectrofuels.



Figur 4: Samfundsøkonomisk analyse af energisystemerne inklusiv transport. Indtjening på det internationale elmarked er illustreret og skal fratrækkes for at få den totale omkostning af systemet.

Mens fremtiden ifølge IDA 2050-energisystemet er en anelse dyrere end det nuværende 2015-energisystem, bør det bemærkes, at dette system i lighed med ENS Vind 2050-scenariet dækker en betragteligt større efterspørgsel mht. varmekvadratmeter, transportbehov og industri. IDA 2050 har lavere omkostninger end forslaget om et 100 % vedvarende energisystem i Energistyrelsens 2050-vindscenarie. Følsomhedsanalyser har vist, at denne konklusion er solid. De store forskelle i omkostninger skyldes udgifter til transportmidler og kan forklares ved lavere vækstrater i vejtransportbehov som følge af trafikoverflytning til skinnetransport og cykling/gang. Desuden er varmebesparelsesudgifterne lavere grundet en bedre strategi for varmebesparelse i nye og eksisterende bygninger samt lavere køleudgifter grundet en højere andel af fjernkøling sammenlignet med de individuelle kølingsinvesteringer i Energistyrelsens scenarier. Endelig er brændselsudgifterne lavere i IDAs scenarier pga. det reducerede biomassebehov.

ENS Fossil 2050-scenariet, som er baseret på fossilt brændsel, har en anelse højere udgifter end IDA 2050 og en smule lavere udgifter end ENS Vind 2050-scenariet. Den helt store fordel ved IDA 2050 er, at det er i stand til at udnytte synergierne i de forskellige forsyningsnet i energi- og transportsystemet, mens ENS Vind 2050-scenariet ikke i samme grad formår dette. I IDA 2035 er udgiftsforskellen mindre iøjenspringende, men det bør bemærkes, at udgifterne til brændsel er betragteligt lavere, og at indtægterne på de internationale elmarkeder er højere end i Energistyrelsens 2035-scenarier.

Målet om 100 % vedvarende energi ændrer energiforsyningsens udgiftsstruktur markant. I fremtiden vil langt flere ressourcer blive afsat til investeringer og langt færre til brændstoffer. Dette fremgår af både IDA 2050- og ENS 2050-scenarierne. Imidlertid er IDA 2050 et mere brændselseffektivt system, hvorfor færre ressourcer afsættes til brændsler i dette tilfælde.

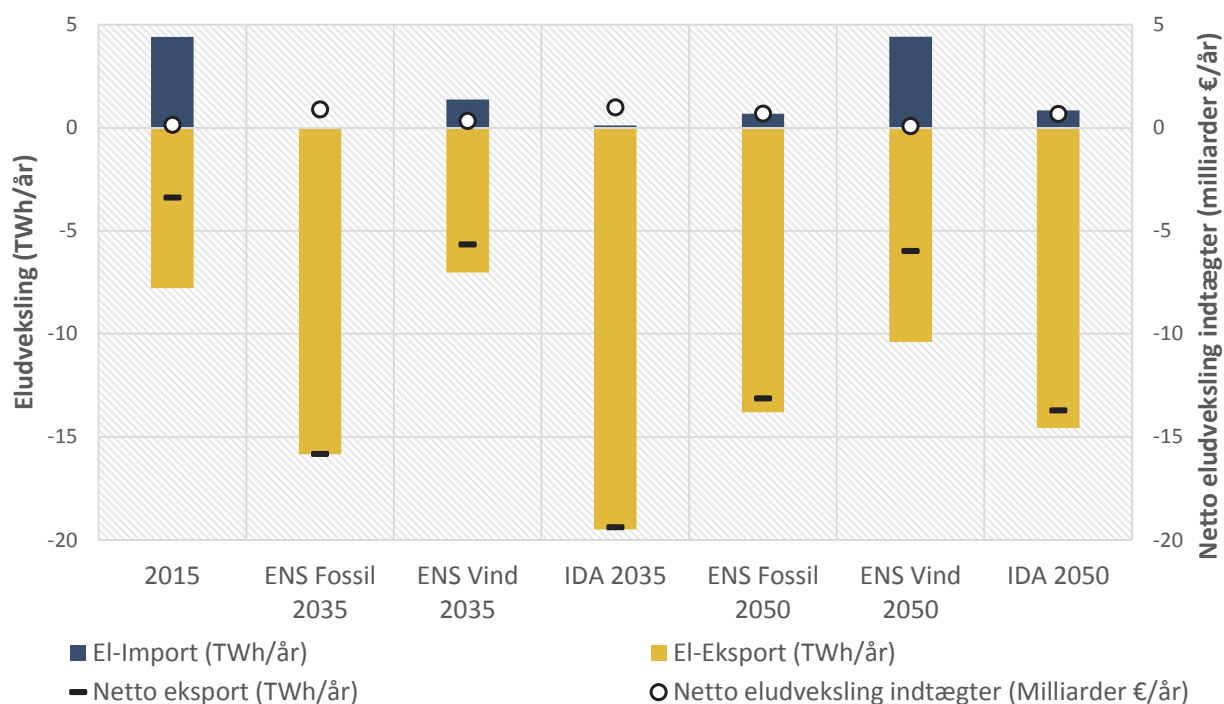
IDA Energivision og Energistyrelsens scenarier er tilpasset til teknologisk udvikling, brændstofpriser og investeringsomkostninger. De vigtigste teknologiske elementer, der er blevet ændret, er typen af elektrolyse,

der er installeret, faktorer for vedvarende energikapacitet og virkningsgrader for kraftværker og kraftvarmeværker. Virkningen af disse ændringer er analyseret i yderligere detaljer i selve rapporten. Yderligere analyser er udført for at undersøge effekten af at øge renten fra 3% til 4%. Resultaterne viser, at alle scenarier vil have højere samlede samfundsøkonomiske omkostninger med ændret rente. Den største stigning ligger på omkring 7-8% i ENS vind- og IDA 2050-scenarierne sammenlignet med 4% i 2015-reference. Men disse højere omkostninger ændrer ikke forholdet mellem scenarierne.

En robust og fleksibel strategi for vedvarende energikilder i international sammenhæng

Handel med brændsler til el, opvarmning og transport samt eludveksling og -handel på Nord Pool-spotmarkedet er vigtige aspekter af det nuværende energiforsyningssystem. I fremtiden vil både energiforsyningssystemet og forbrugersiden forandre sig; internationalt samarbejde er dog også vigtigt i en fremtidig vedvarende energisammenhæng.

Aktuelle elmarkeder – det være sig det nordiske Nord Pool Spot eller det centraleuropæiske/tyske EPEX – er designet med udgangspunkt i princippet om marginalprissætning. Ud fra dette fastsættelsesprincip afhænger en deltagers udbytte af, at en dyrere enhed også vinder. På markeder baseret på marginalprissætning afgiver deltagerne bud, der er lig med eller tæt på den kortfristede marginaludgift forbundet med deltagelse ud fra antagelsen om, at ingen dominerer markedet. På den måde resulterer deltageres budstrategier normalt i, at enhederne med de laveste *kortfristede marginaludgifter* bliver brugt først. Markedet er derfor kendt for at holde de samlede systemudgifter nede, selvom dette ikke nødvendigvis dækker deltageres *langfristede udgifter* i form af kraftværker eller vindmøller.

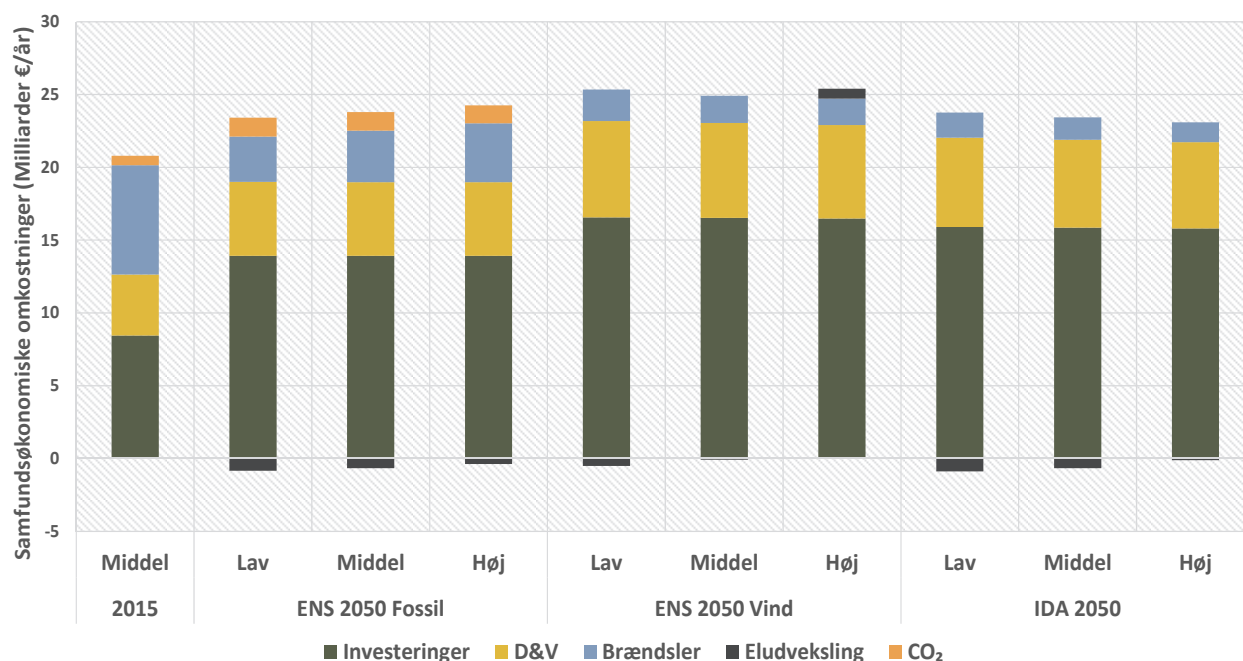


Figur 5: Elmarked og indtjening på import og eksport af elektricitet under forudsætning af tre niveauer af prisforudsætninger og brændstof for 2015 samt IDA- og DEA-scenarier. Nettoeksporten er også inkluderet samt indtægterne fra el-import og -eksport.

Figur 5 viser elhandlen samt indtægterne fra elimport og -eksport baseret på antagelsen om, at der ikke er nogen markante flaskehalse i transmissionskapaciteten på de skønnede 4140 MW, og at de pågældende

energisystemer har omtrent samme kapacitet. Mens nettoindtægterne i IDA 2035 og 2050 ligner dem i Energistyrelsens fossile scenarier, er indtægterne i vindscenarierne lavere. Dette skyldes højere vind- og solcellekapacitet hos IDA, fleksibilitet på forbrugssiden hos IDA samt højere effektivitet på kraftværkerne og kraftvarmeværkerne hos IDA. Konklusionen om, at IDAs scenarier kan generere indtægter på internationale elmarkeder, ændrer sig ikke markant, selvom der skulle blive fremsat ti andre elprisskøn.

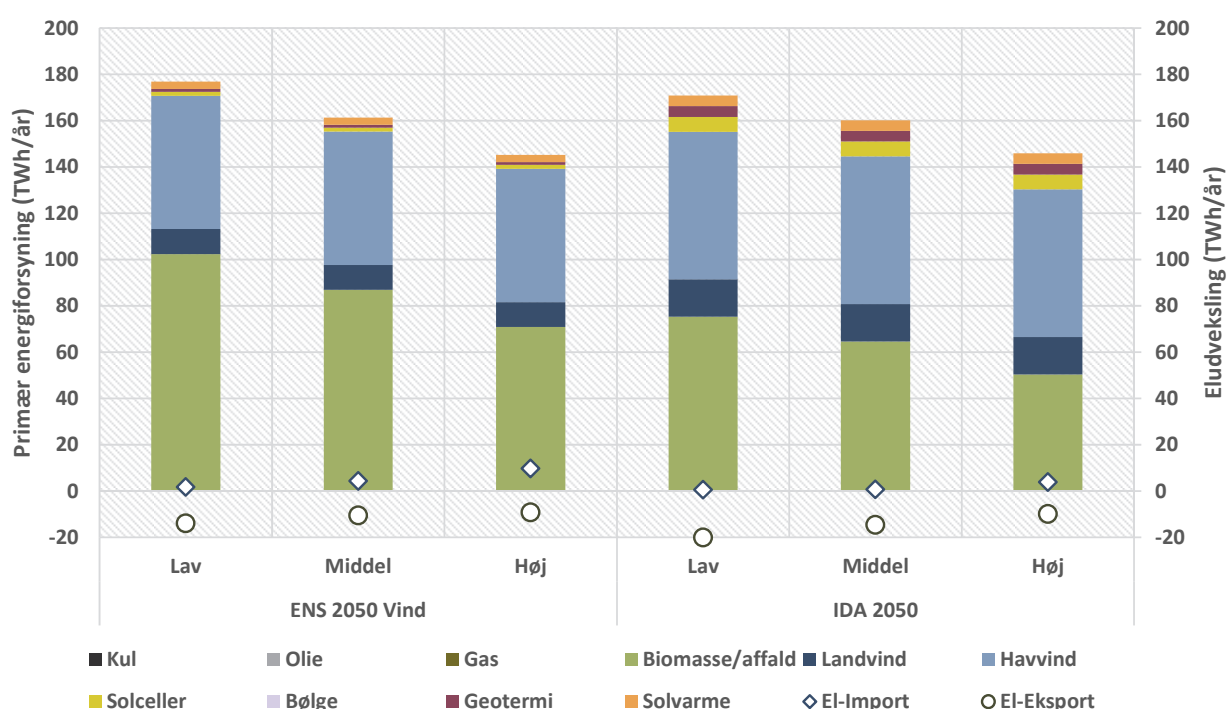
Som illustreret i Figur 4, bliver investeringer ekstremt vigtige i fremtiden. Selvom elektricitetsudveksling og -handel er vigtigt, er energisystemets overordnede design – herunder varme- og gasforsyningsnet – vigtigere, hvis vi ønsker et omkostningseffektivt system. Mens investeringer er langsigtede og vil stabilisere de overordnede omkostninger, er udgifterne til biomasse og muligheden for at importere og eksportere el vigtige på kort sigt med faciliteterne installeret. Tidligere har brændselspriserne svinget markant. IDAs Energivision er blevet analyseret ved hjælp af tre forskellige brændselsprisskøn samt 10 forskellige antagelser om fremtidens internationale elmarkedspriser for hvert af scenarierne. Dette har vi gjort for at analysere energisystemets evne til at generere nettoindtægter på import og eksport mellem Danmark og de omgivende lande, som også er underlagt skiftende biomassepriser.



Figur 6: Samfundsøkonomiske omkostninger af de tre scenarier analyseret inklusiv transport med 3 brændselspriser (oliepris 62, 105 and 148 \$/tønden og 77 €/MWh på det internationale el marked). Indtjening på det internationale elmarked er angivet som negative og skal fratrækkes for at få den totale omkostning af systemet.

I Figur 6 fremgår de overordnede samfundsøkonomiske omkostninger ved alle tre brændselsprisiniveauer. Et udsving i brændselspriserne påvirker 1) udgifterne til brændselsforbrug herhjemme og 2) evnen til at generere indtægt på de internationale el-markeder. Selvom udgifterne varierer, viser resultaterne, at IDA 2050 og IDA 2035 har lavere udgifter end Energistyrelsens scenarier, som det blev beskrevet tidligere. Med lave brændselsudgifter øges nettoindtjeningen på el-markederne, mens det modsatte er tilfældet ved høje brændselsudgifter. Igen bekræfter dette, at et brændseffektivt energisystem øger den overordnede robusthed og elasticitet, idet IDAs scenarier er bedre til at udnytte alle situationer.

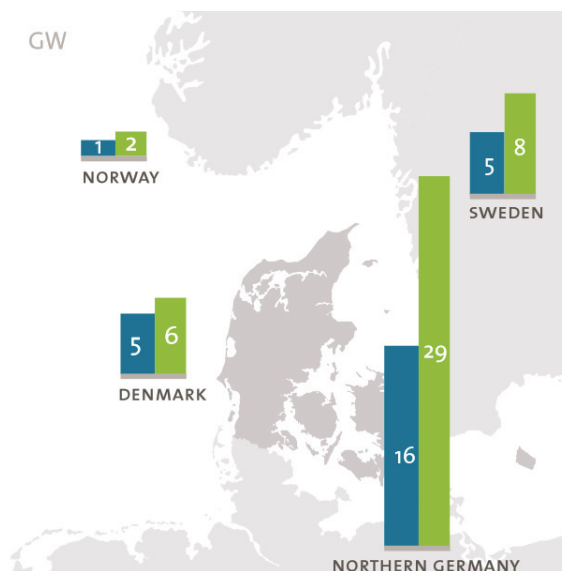
En vigtig effekt af forskellige 100 % vedvarende energisystemer kan aflæses i biomasseforbruget. I ENS Vind 2050-scenariet varierer udgifterne til biomasse med 300€ mio. mellem de tre brændselsudgiftsniveauer. Det laveste samlede niveau er på 1.800 € mio. I IDA 2050 varierer udgifterne derimod med 350€ mio. fra 1.400 € mio. og opefter. En af grundene er prisforskelle og -niveau; en anden er effekten på biomasseforbruget i PJ. Denne forskel afspejler et spænd på 367, 306 eller 256 PJ biomasse i henhold til antagelser om lave, mellem eller høje brændselspriser i ENS 2050-scenariet. I IDA 2050 er spændet på 270, 234 og 180 PJ. Bag disse resultater er der naturligvis mange systemdynamikker mellem kedelanlæg og kraftvarmeværker. Imidlertid er det ikke bare muligt at skabe et mere omkostningseffektivt scenarie med generelt lavere brændselsudgifter og højere indtægter på internationale el-markeder. Det er også muligt at skabe et system, som er mere robust og fleksibel i en verden, hvor biomasseressourcer kan blive dyre eller knappe pga. rovdrift. I Figur 7 ses det resulterende primære brændselsforbrug.



Figur 7: Primær energiforsyning i ENS 2050 Vind og IDA 2050 for 3 brændselspriser (oliepris 62, 105 og 148 \$/tønne og 77 €/MWh på det internationale el-marked).

I det fremtidige energisystem er det usikkert, hvorvidt denne budgivning på markedsvilkår ved hjælp af kortfristede marginalpriser vil være tilstrækkelig til at sikre omkostningseffektive el-systeminvesteringer. Årsagen til dette er, at vindkraft og solceller er forbundet med meget lave marginalomkostninger og vil udgøre den langt mest udbredte teknologi. Dette vil reducere priserne, og med meget lidt priselasticitet på forbrugssiden vil de kortfristede priser blive meget lave eller endog gå i minus. I fremtiden vil dette betyde, at 1) kapaciteter med høje omkostninger og lav driftstid ikke vil kunne dække de langsigtede investeringsomkostninger, hvilket var formodningen ifølge marginalprissætningsprincippet, og 2) medmindre garanterede afregningspriser betragtes som investeringsmarkeder og bliver holdt på et bestemt niveau, vil nye teknologier ikke blive installeret, selvom f.eks. landvindkraft nu er den billigste el-producerende enhed. P.t. ses tidlige advarselssignaler i Europa, på det nordiske el-marked og i Danmark i form af kraftværker, der lukker, og lav indtjening for kraftværk- og vindmølleejere.

Dette dilemma vil vokse i de kommende år, efterhånden som Nordeuropa som sådan øger andelen af vedvarende energiresourcer. Som det fremgår af Figur 8, forventes vindkraftkapaciteten at vokse betragteligt i Sverige, Nordtyskland og Norge fra 2014 til 2020. Frem mod 2050 vil udvidelsen af vindkraft- og solcelleenergi være markant, hvilket vil udfordre den nuværende markedskonstruktion.



Figur 8: Vindkapacitet i Danmark, Nordtyskland, Norge og Sverige i 2014 (blå) og 2020 (grøn). Kilde: Energinet.dk

IDA 2050-scenarierne formår i højere grad end ENS 2050-scenariet at håndtere en situation, hvor Danmark ikke kan eksportere (fysisk set eller med lave omkostninger til følge). Udvekslingen mellem det danske system og eksterne markeder indebærer både import og eksportrisici.

Importrisici kan opdeles i to. For det første en mangel på kraftværkskapacitet til at producere elektricitet uden for Danmark på grund af den nuværende tendens med faldende kapacitet i Nordeuropa. Det betyder, at der kan opstå situationer, hvor det ikke er muligt for Danmark fysisk at importere på grund af utilstrækkelig kraftværkskapacitet i perioder med lav vindproduktion i Danmark. For det andet kan elpriserne i disse perioder med lav vindkraftproduktion blive for høje på grund af den øgede efterspørgsel på tværs af lande. Lav vindkraftproduktion vil sandsynligvis også forekomme uden for Danmark, og der vil derfor være behov for kraftværkskapacitet også uden for Danmark.

Eksportrisici eksisterer desuden fordi vejrmønstre er temmelig ens mellem nabolande, hvilket betyder, at der vil være et overskud af vindkraft og PV el-produktion i vores nabolande i de samme perioder som hos os. Det betyder, at en overbelastning i transmissionslinjer er sandsynlig og gør det fysisk umuligt at eksportere, selv med højere kapacitet i transmissionen end i dag. For det andet, hvis transmissionskapaciteten er til rådighed, opstår den høje vindkraftproduktion på samme tid i det nordeuropæiske område, og dermed vil dette føre til en faldende eller endda negativ elpris.

Disse fire handelsrelaterede risici er værd at tage med, når man planlægger et fremtidigt energisystem. IDA 2050-scenariet repræsenterer et energisystemdesign, som handler med el på tværs af sektorer som en nøglestrategi for at øge omkostningseffektiviteten ved hjælp af Smart Energy Systems-tilgangen, dvs. at el omkostningseffektivt kan bruges til opvarmning og transport, mens det samtidig kan handles på internationale elmarkeder, når lejligheden byder sig. ENS 2050-scenariet repræsenterer i højere grad et energisystem, som

hviler på antagelsen om, at integrationen af vindkraft hovedsagelig må ske på internationale elmarkeder, dvs. at vind ikke overbelaster transmissionslinjerne fra nabolandene.

En analyse af den internationale udveksling på elmarkedet viser, at i en situation, hvor elektricitetseksporten er begrænset, fordi det nordeuropæiske marked generelt oversvømmes af vindkraft, kan IDA 2050-scenariet endda have et lavere biomasseforbrug sammenlignet med en ikke-begrænset situation. Dette skyldes, at energisystemdesignet er udført ved hjælp af synergier, der kombinerer flere sektorer. Her kan biomasse erstattes med vindkraft og solcelleenergi i flere hjørner af energisystemet. Dette er ikke tilfældet i ENS 2050-scenariet. Her forbliver biomasseforbruget temmelig højt sammenlignet med IDAs 2050-prognoser.

International eludveksling og -handel alene er ikke den bedste løsning, når den nordeuropæiske region bevæger sig i samme retning som Danmark. Det er vigtigt med incitamenter til, at flere teknologier kan fungere fleksibelt i energisystemet. Det er nødvendigt med interaktion mellem el og varme, gas og transport i fremtiden, og denne interaktion kan ikke finansieres af et marginalprissat elmarked alene. En strategi, hvor hvert enkelt land øger den vedvarende energi ved at eksportere vedvarende elektricitet, er på langt sigt en risikofyldt strategi for Danmark og de europæiske lande i det hele taget. Smart Energy Systems-tilgangen giver omkostningseffektive synergier med udveksling af og handel med energi på tværs af sektorer samtidig med, at der benyttes billig opbevaring i smarte el-, jordvarme- og gasforsyningsnet. IDAs Energivision 2050 tilbyder Danmark en sådan strategi. En strategi, der bevæger sig fra en enkelt sektor til en integreret tilgang, vil også være mere robust for Europa.

IDA-scenariets indhold

Dette afsnit opsummerer og beskriver de vigtigste egenskaber, som blev medtaget i IDAs Energivision 2050 for IDA 2035- og IDA 2050-scenarierne. For en mere detaljeret fremstilling se hovedrapporten.

Varmebesparelser

En væsentlig reduktion af varmebehovet i bygninger er altafgørende for fremtidens smarte energisystem. Det er imidlertid nødvendigt med en balance mellem hhv. varmebesparelser og -produktion. På et vist niveau bliver det for dyrt at spare energi i forhold til at producere energi. IDAs Energivision forsøger derfor at fastslå, hvor meget varmebehovet i bygninger skal reduceres.

Vi er nået frem til, at varmebehovet i de eksisterende bygninger bør ligge på ca. 80 kWh/m² i 2050. Dette er en reduktion på 40 % sammenlignet med det aktuelle behov. Hvis Danmark opnår væsentligt mindre eller væsentligt større besparelser i den eksisterende bygningsmasse, vil energisystemets samlede omkostninger øges, enten pga. flere produktionsenheder eller pga. dyrere besparelsesforanstaltninger. For at opnå omkostningseffektive besparelser skal bygningsrenoveringen og forbedringen af den energimæssige ydeevne koordineres. Det vil blive for dyrt at modernisere den samme bygning to gange før 2050. Dette omkostningsniveau afspejler, at bygningsejere reducerer bygningens varmebehov til de 80 kWh/m², på et tidspunkt hvor bygningen skulle renoveres alligevel. Hvis dette ikke er tilfældet, vil omkostningerne være for høje til at opnå en reduktion på 40 %.

Ifølge IDAs Energivision bør nye bygninger kunne understøtte et varmebehov på ca. 55 kWh/m² i 2050. Dette krav afspejler bygningens faktiske varmebehov, og ikke produktionsenheder såsom solceller på bygningen. IDAs Energivision har fokus på det faktiske varmebehov for nye bygninger, og ikke som det danske bygningsreglement 2020, hvor produktionsenheder såsom solceller kan kompensere for manglende isolering af en bygning.

IDAs Energivision foreslår et ambitiøst mål for både varmebehovet i nye bygninger og f.eks. solceller, solvarme og andre vedvarende energiproduktionsenheder.

Elbesparelser i husholdninger

I IDAs 2050-scenarie er der indført elbesparelser i husholdningerne for at kunne reducere slutbehovet og holde det inden for biomassepotentialet. Tre forskellige faktorer har betydning for fremtidens elbehov. For det første vil der komme mere udstyr. Dette vil medføre øget efterspørgsel, hvilket særligt gør sig gældende for IKT-teknologierne (tv, computere mv.). For det andet har vi de tekniske besparelser, som det er muligt at implementere, og for det tredje de besparelser, der kan implementeres pga. adfærdssændringer. I IDAs Energivision skønnes det, at der vil finde en stigning i mængden af udstyr på 4% sted i 2035 og 10% i 2050. Dette øger elektricitetsbehovet. På den anden side implementeres der også tekniske besparelser på 6% i 2035 og 15% i 2050, primært pga. forventning til øget regulering og teknologisk udvikling. Desuden kan fokus på adfærdsmæssige aspekter også medføre besparelser på elforbruget. IDA har vurderet, at besparelser på hhv. 8% i 2035 og 20% i 2050 er mulige. Dette betyder en overordnet nedbringelse af elbehovet på 10% i 2035 og 25% i 2050 ifølge IDAs Energivision sammenlignet med 2015-referencen.

Principhierarki for industriens overgang til vedvarende energi

I IDAs Energivision forventes industri- og servicesektoren, herunder landbrug og byggeri, at opleve samme vækst som i EAN Vind 2050- og EAN Fossil 2050-scenarierne, dvs. ca. 40% fra 2015 til 2050. Det vil igen sige, at de samme behov opfyldes. IDAs Energivision introducerer et principhierarki, som i første omgang prioriterer besparelser, dernæst smart energiforbrug med fjernvarme og -køling samt elektricitet via varmepumper og til sidst erstatning af fossile brændsler med el, tung biomasse og endelig metaniseret biogas af høj kvalitet.

1. Besparelser prioriteres
2. Fjernvarme og -køling prioriteres, herunder udnyttelse af spildvarme fra processen, hvad enten det er internt eller til fjernvarme
3. Varmepumper prioriteres til det resterende rumopvarmningsbehov
4. Erstatning af fossile brændsler med el prioriteres
5. Erstatning af fossile brændsler med tung biomasse prioriteres
6. Erstatning af fossile brændsler med grøn gas (metaniseret biogas) prioriteres

Hierarkiet er defineret ud fra ønsket om at forvandle industri- og servicesektoren til en del af fremtidens vedvarende system, hvori energiforbruget og udgifterne ved hele energisystemet er minimeret så meget som muligt.

IDAs Energivision går ud fra de samme besparelser som ENS Fossil- og Vind-scenarierne, idet disse besparelser er tæt forbundne med antagelserne om vækst. Den væsentligste forskel her er fokus på anvendelsen af energieffektive teknologier, hvilket betyder, at IDAs Energivision medtager mere fjernvarme og -køling i kombination med anvendelse af mere industriel lavtemperaturspildvarme samt mere el og mindre biomasse. Et energibehov på 193 PJ i 2015 med en høj andel af fossile brændsler forvandles til et energibehov på 189 PJ uden fossile brændsler og med bidrag fra fjernvarme og -køling samt overgang til el og gas.

Fjernvarmeudbygning

Fjernvarmeforsyningen i IDAs Energivision forventes at stige til 66% af det samlede varmebehov baseret på analyser i Varmeplan Danmark fra 2008 og IDAs Klimaplan 2050 fra 2009. Det samlede fjernvarmebehov forventes at stige fra 22,8 TWh i 2015, svarende til en andel på 53%, til 30,5 TWh i 2035 og 28,2 TWh i 2050, hvorved de forventede 66% opnås. Disse tal tager højde for både udvidelser i fjernvarmedækningen, forvandling af industrien samt generelle varmebesparelser i bygninger.

Udvidelserne af fjernvarmesystemerne vil indebære en række fordele for fjernvarmeproduktionen. Udvidelse af fjernvarmen vil muliggøre bedre integration af overskydende varmeproduktion fra forskellige processer, herunder industriel overskudsvarme, overskudsvarme fra biogas- eller electrofuel produktion samt affaldsforbrænding. Den vil desuden forbedre integrationen af energisektorerne, efterhånden som en større andel af forbrugere og behov vil øge det samlede systems fleksibilitet og dermed øge potentialet for integration af vindkraft via store varmepumper og kombineret opvarmning, køling og vindkraft.

I Danmark varetages elforsyningen primært af en kombination af varme- og kraftværker samt fyrkedler. Fremtiden vil bringe mange nye former for varmeforsyning. Dette inkluderer vindkraft, som kan bruges til varmeproduktion med store varmepumper, solvarmekilder, geotermi samt overskydende varme fra industrien. Det er muligt at udvinde mere varme fra disse ressourcer, hvis deres leveringstemperatur er lavere. Således vil en reduktion af temperaturen i fjernvarmenetværket åbne mulighed for, at mere vedvarende varme udnyttes. Desuden vil mængden af varmetab i rørene – såfremt temperaturen i rørene er lavere – også nedbringes, hvorfor mere af den producerede varme når forbrugeren. I fremtiden vil fjernvarmens distributionstemperatur skulle reduceres fra det nuværende niveau på 80-100°C til ca. 50-60°C.

Fjernkøling

I dag dækker eldrevne aircondition anlæg størstedelen af kølingsbehovet i Danmark. Der er imidlertid stort potentiale for at dække noget af behovet ved hjælp af fjernkøling. Fjernkøling indebærer nogle af de samme fordele som fjernvarme. Spidsproduktionsbehovet nedbringes, fordi mange forbrugere med forskellige forbrugsprofiler sættes i forbindelse med hinanden; det er muligt at inkorporere stordriftsopbevaring samt en blanding af kilder til kølingsproduktionen. Kølingsproduktionen i et fjernkølesystem afhænger af lokale omstændigheder. Fjernkøling kan produceres fra en blanding af kilder såsom grundvandskøling, fri køling fra omgivende kilder og varmepumper. Det er muligt at udnytte den varme, der produceres på varmepumper, på samme tid som kølingen og dermed optimere systemets ydeevne. I IDAs 2050-model dækkes 40% af kølingsbehovet af fjernkøling, og det antages, at 75% af fjernkølingen produceres i kombination med opvarmning.

Elektrificering af transport og electrofuels

IDAs Energivision bygger på de samme antagelser om forbedringer i køretøjs effektiviteten som ENS Fossil- og Vind-scenarierne, opdelt på forskellige transportmidler. I IDAs Energivision skaber lavere vækst inden for behovet for vejtransport samt trafikoverflytning nye transportbehov i 2035 og 2050.

Førsteprioritet tildeles elektrificeringen af transportsektoren. Den del af transportbehovet, som ikke kan elektrificeres, opfyldes af electrofuels: Bioelectrofuels og CO₂-electrofuels. De slutbrændsler, der forventes anvendt i både 2035- og 2050-scenarierne, er DME (dimetylæter) eller metanol jævnt fordelt i fremdriftssystemer, der kører på flydende brændsler. Den direkte og den batteridrevne elektrificering er en høj prioritet, og store andele af biler, varevogne og tog er elektrificeret. Det samlede transportbrændselsbehov vil ligge på 133 PJ i 2050, hvoraf 100 PJ er flydende electrofuels, og 33 PJ af elektriciteten bruges til elektrificering af transport. Halvdelen af behovet for electrofuels opfyldes gennem biobaserede electrofuels, hvilket resulterer i behovet for 47 PJ biomasse til brændselsproduktion, som er tilpasset det biomassepotentiale, der er til rådighed til transport i Danmark. For at kunne nå op på disse niveauer blev transportefterspørgslen vækst nedbragt, og der blev implementeret mere offentlig transport og en trafikoverflytning fra vejtransport til skinner, herunder udgifterne forbundet hermed. Passagertransportbehovet blev fordelt, således at 45% af transportbehovet blev opfyldt af køretøjer, 29% af offentlig transport, 5% af cykler og 21% af luftfart. Den højeste andel af godstransportbehovet blev opfyldt til søs (82%) efterfulgt af lastbiler (13%), varevogne og tog med kun 1,3%.

I 2050-scenariet udgør batteridrevne køretøjer 75% af privatbilismen, mens resten af transportbehovet dækkes af electrofuels i 10% af de opladelige hybridbiler, 5% af hybridbilerne og 10% af ICE-togene. Elbusser opfylder 15% af transportbehovet, mens en ligelig blanding af bioelectrofuels og CO₂-electrofuels supplerer de resterende 85% af ICE-togene (Internal Combustion Engines). Togdriften er 100% elektrificeret, og transport såvel til vands som i luften drives af en ligelig blanding af electrofuels. For godstransportens vedkommende er 35% af varevognene batteridrevne, og de resterende 65 % varetages af ICE-tog, ICE-hybrider og opladelige ICE-hybrider, som kører på en ligelig blanding electrofuels. De lastbiler, som kun dækker indenrigsbehovet, forventes at udgøres af 75% ICE, 20% ICE-hybrider og 5% brændselscellehybrider, som kører på electrofuels. De samme antagelser gælder for luft- og søfart som for passagertransport.

El-til-gas og el-til-brændsler er særdeles vigtige for Smart Energy Systems-konceptet. Ved at bruge elektrolysatorer som bindeled for ellagring ved at konvertere den fluktuerende elektricitet fra vedvarende kilder til de gasser eller væsker, som kan bruges i energisektorerne eller opbevares ved hjælp af forskellige lagringsteknologier, etablerer vi forbindelsen mellem el-, gas- og transportsektorerne. Disse teknologier tilbyder derfor en løsning til opfyldelse af forskellige brændselsbehov, mens systemet samtidig holdes fleksibelt. På denne måde kan vi kompensere for den tabte fleksibilitet på ressourcesiden ved at tilføje fleksibilitet i konverteringsprocessen. Da brændselsproduktionsfaciliteterne producerer overskydende varme, er dette en anden vigtig faktor for fremtidens integration af brændselsproduktionen og varmesektoren.

Transportsektorens overgang til vedvarende energi er mulig inden for et overskueligt budget med fokus på maksimal elektrificering af transport, en minimering af biomasse til transport og en nedbringelse af transportbehovet ved hjælp af mere effektive teknologier og lavere vækst.

Vind, PV og bølgekraft

De tre vigtigste vedvarende energikilder i Danmark er land- og offshorevindkraft og solcelleenergi. Potentialet for landvindkraft skønnes at udgøre 9-35 TWh, hvorimod offshorevindpotentialet vurderes til at være 1.600-2.800 TWh. Solcellepotentialet skønnes at være på 5-29 TWh. Herudover vurderes det, at bølgekraft spiller en mindre rolle i form af 300 MW installeret kapacitet. Elproduktionen fra hver vedvarende ressource ses i Tabel 1.

Tabel 1: Elproduktion fra vind og sol i 2015-reference og 2035 og 2050 ENS og IDA scenarier

Elproduktion (TWh)	2015	2035		2050	
		ENS	IDA	ENS	IDA
Offshore vind	4.4	21	26	58	64
Landvind	7.2	11	13	11	16
Sol PV	0.6	0.9	3.8	2	6.4

I 2050, i IDA-scenariet, er den totale installerede kapacitet for landvind, offshorevind, solcelleenergi og bølgekraft henholdsvis 5.000 MW, 14.000 MW, 5.000 MW og 300 MW. For at kunne producere el ud fra disse teknologier skal installationen af den nye infrastruktur for vedvarende elektricitet ske i forskellige hastigheder afhængig af teknologi og tidspunkt. Solcelleenergi skal nå op på ca. 150 MW/årligt. For landvindkraft er tallet 150-200 MW/årligt og for offshorevindkraft 450-500 MW/årligt. Heri ligger der en væsentlig udfordring, men vi bør huske på, at disse teknologier erstatter importerede brændsler og er i stand til at opfylde store dele af behovet ikke bare inden for varme- og kølesektoren, men også transportsektoren.

Bæredygtig biomasse- og affaldshåndtering

Ud over de vedvarende energikilder såsom vind- og solenergi og geotermi opererer IDAs Energivision endvidere med biomasse. Imidlertid vil brugen af biomasse, f.eks. halm, træ, afgrøder, biogas osv., påvirke drivhusemissionerne afhængigt af biomasseressourcens karakter, hvordan den anvendes, og hvorvidt der plantes nye træer eller ej. Derfor bør man gøre en indsats for at sikre, at biomassen bruges på en bæredygtig måde.

IDAs Energivision 2050 formår dette på to måder:

- For det første er mængden af biomasse reduceret i kraft af lagring og integration af sektorer, der muliggør brug af andre ressourcer i energisystemet.
- For det andet er biomassetypen begrænset til restressourcer såsom halm, træaffald fra skovbruksindustrien og biogas (gødning og organisk affald) samt mindre ændringer inden for landbruget i retning af energiafgrøder med stærkt begrænset indflydelse på fødevareproduktionen.

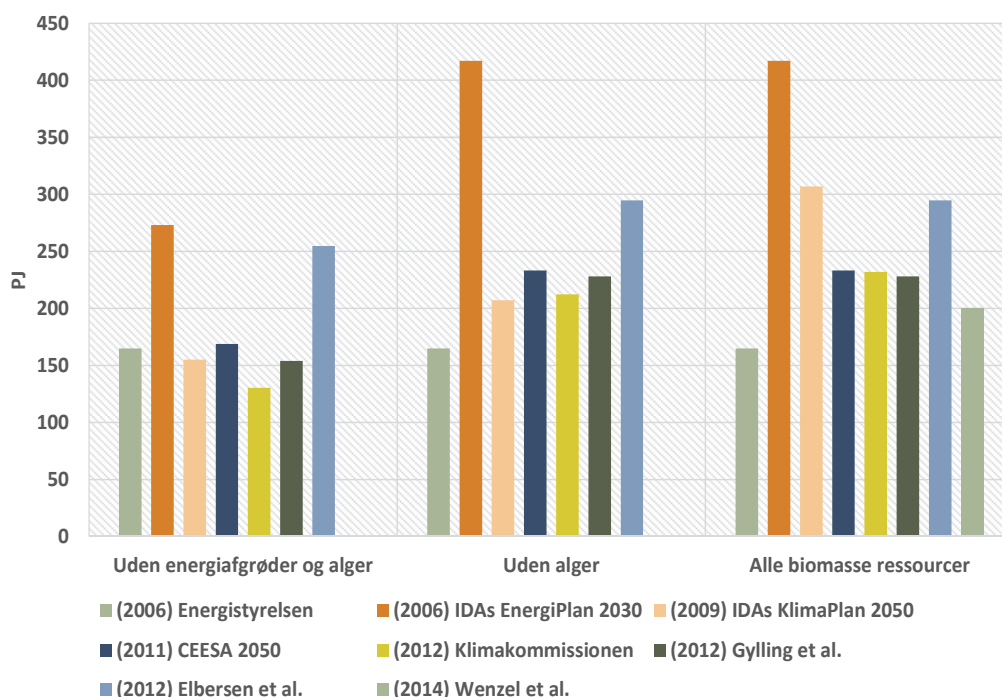
IDAs Energivision indebærer ikke nogen restriktioner på dansk bioenergi. Certificeringssystemer eller lignende planer er uden for nærværende analyses rækkevidde. Hensigten er at designe systemer, som kan fungere brændsels- og omkostningseffektivt i en sammenhæng, hvor bioenergiens disponibilitet er uvis, hvad priser angår.

IDA 2050 opererer med 180-270 PJ/årligt, afhængigt af vilkårene på det internationale elmarked. Det ligger endvidere på samme niveau som den danske andel af de tilgængelige verdensressourcer og den danske restressource. Med udgangspunkt i de samme antagelser opererer ENS 2050-scenarierne med 256-367 PJ. Når de høje brændselspriser fra ENS scenariet bruges fås et biomasseforbrug på 250PJ, hvilket også fås i replikeringen. Biomasseforbruget ved forskellige prisniveauer ses af Tabel 2.

Tabel 2: Bioenergibehov i forskellige prissituationer

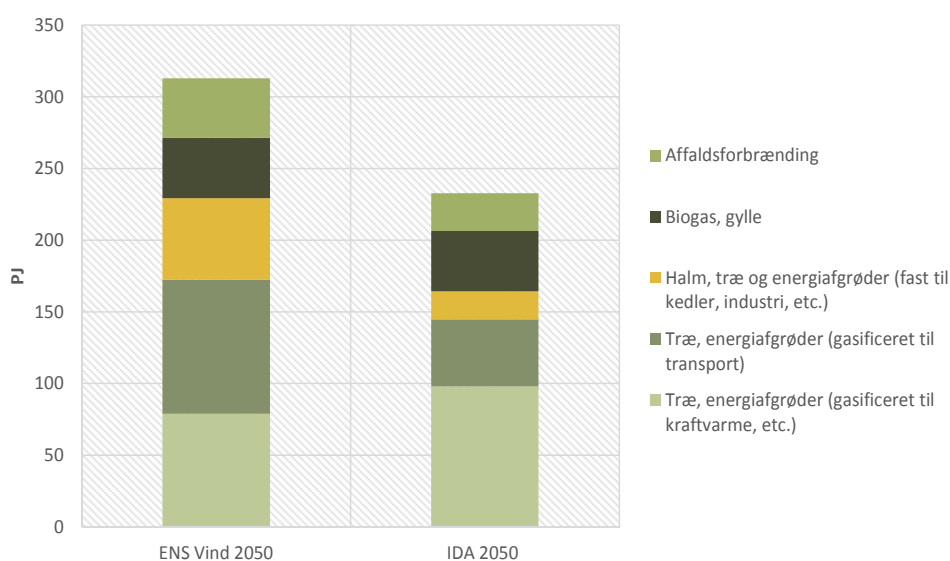
Prisniveau	ENS vind 2050			IDA 2050		
	<i>Lavt</i>	<i>Middel</i>	<i>Højt</i>	<i>Lavt</i>	<i>Middel</i>	<i>Højt</i>
Biomassebehov (PJ)	367	306	256	270	234	180

Adskillige studier har påvist de potentielle biomasseressourcer i Danmark. De fleste af dem fokuserer på restressourcer, mens andre fokuserer på alger og/eller energiafgrøder. I Figur 9 vises en liste over danske undersøgelser af biomassepotentiale i løbet af de sidste ti år. Af disse undersøgelser fremgår det klart, at de tilgængelige biomasseressourcer er tættere på 150 PJ end på 250 PJ, når man ikke medtager energiafgrøder og/eller alger. Fremskridt inden for design af energisystemer har gjort det muligt at nedbringe behovet for biomasse, men udfordringen forbundet med biomasse handler ikke kun om mængden, men også om de forskellige typer.



Figur 9: Biomassepotentialer vurderet i forskellige studier de sidste 10 år

Efterspørgslen på biomasse for hver teknologi (dvs. kedler) opfyldes af forskellige biomassetyper, f.eks. træ, halm, energiafgrøder og biogas. Ved at sammenligne de forskellige teknologiers biomassebehov med forskellige ressourcers biomassepotentiale fremgår det klart, at der er nok potentiale til at opfylde teknologiernes behov. Derudover er det tydeligt for visse scenariers vedkommende, at biomassebehovet for alle teknologierne tilsammen er tæt på biomassepotentialets øvre grænse. Biomasseforbruget i de to vigtigste 2050-scenarier er illustreret i Figur 10.

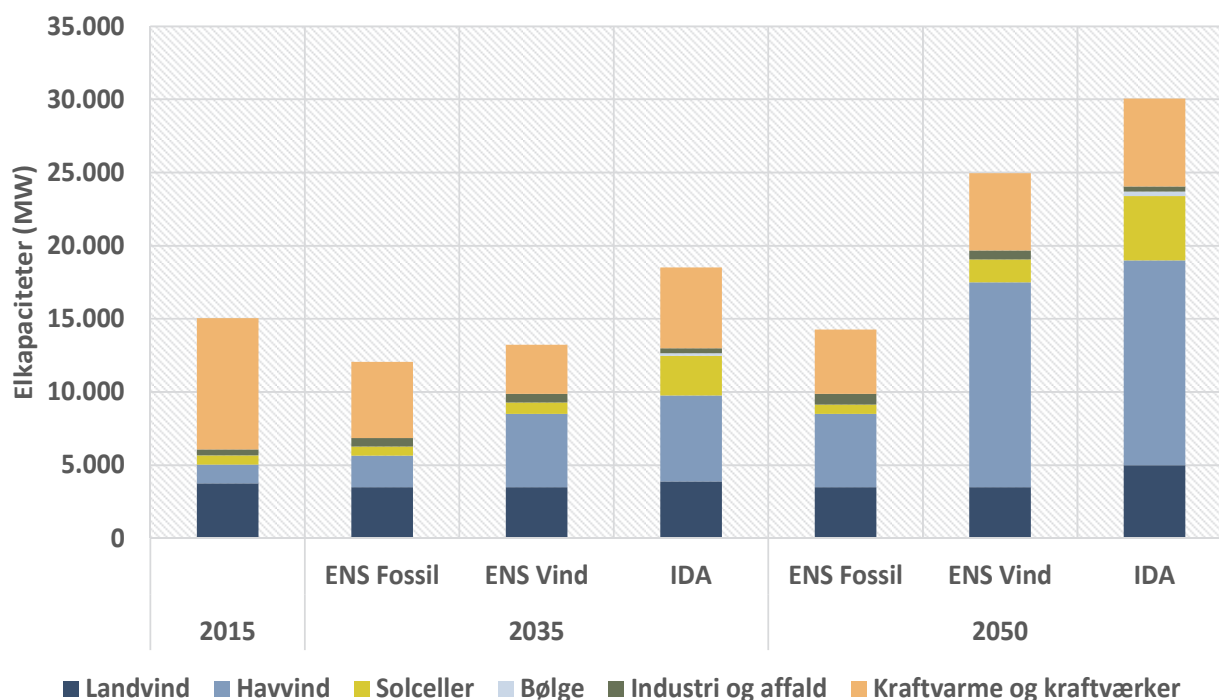


Figur 10: Biomassebehov fordelt på kilder i ENS vind 2050 and IDA 2050

IDAS Energivision 2050 prioriterer affaldshåndtering og genbrug af affald. Kun det affald, som ikke genbruges, bliver anvendt til energiformål. Herunder prioriteres produktionen af gas og flydende brændsel, enten som en del af biogas og om muligt termisk forgasning eller bioolieproduktion fra organisk affald. Resterende dele vil blive brugt i affaldsforbrænding sammen med lignende biomassefraktioner, som hverken kan omdannes til gas eller flydende brændsel. Disse forbrændingsanlæg bruges til produktion af fleksibel kombineret varme, el og damp, hvoraf dampen bruges til jordvarme eller biomassekonvertering. Som en konsekvens heraf bruger IDAs Energivision 26 PJ/årligt på affaldsforbrænding, hvilket er mindre affald end de to ENS-strategier Fossil og Vind (hhv. 44 og 41 PJ/årligt).

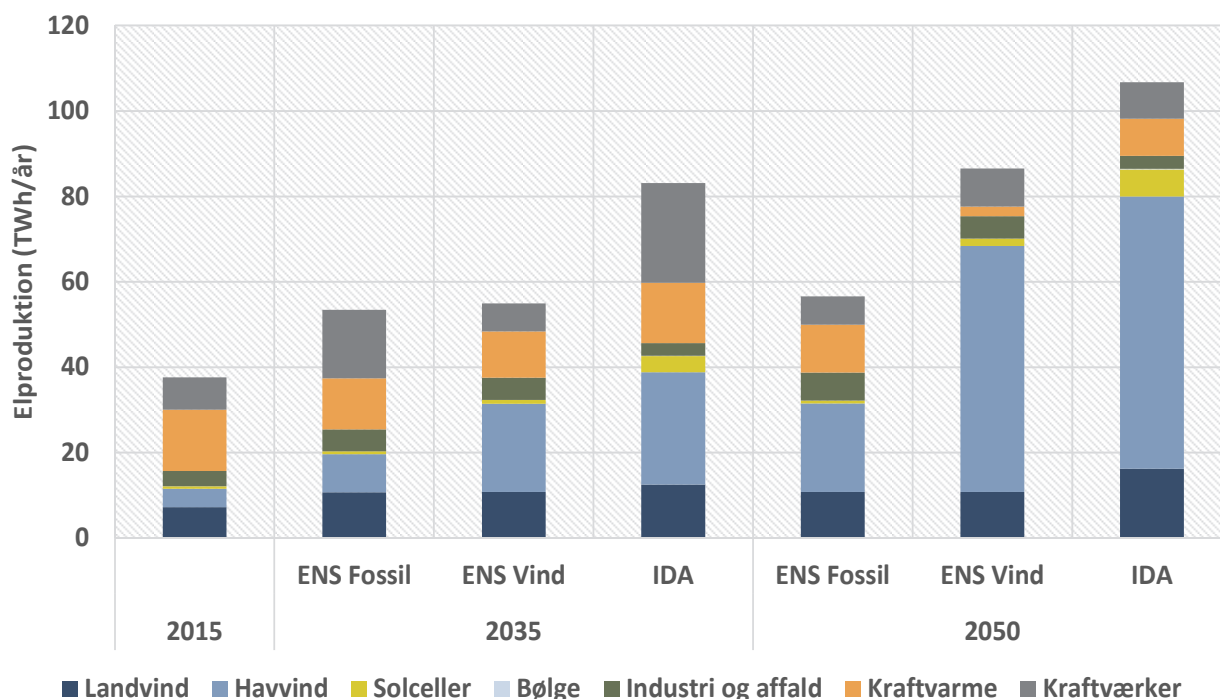
Fleksibelt forbrug og produktionsteknologier

For at kunne integrere de stadig stigende mængder fluktuerende vedvarende ressourcer har vi implementeret en høj grad af fleksibilitet i IDAs scenarier ved at implementere bestemte forbrugs- og produktionsteknologier. På produktionssiden installeres der hurtigregulerende kraftvarme- og kraftværker baseret på gasforbrug for at sikre en høj reguleringsevne. De installerede varmekapaciteter i Energistyrelsens og IDAs scenarier ligner hinanden meget med den undtagelse, at der i IDAs scenarier er en anelse højere kapacitet. I IDAs scenarier ligger den overordnede kapacitet på omkring 6.000 MW sammenlignet med 5.500 MW i ENS 2050-scenarierne – en forskel på omtrent 10%. Den installerede produktionskapacitet er illustreret i Figur 11.



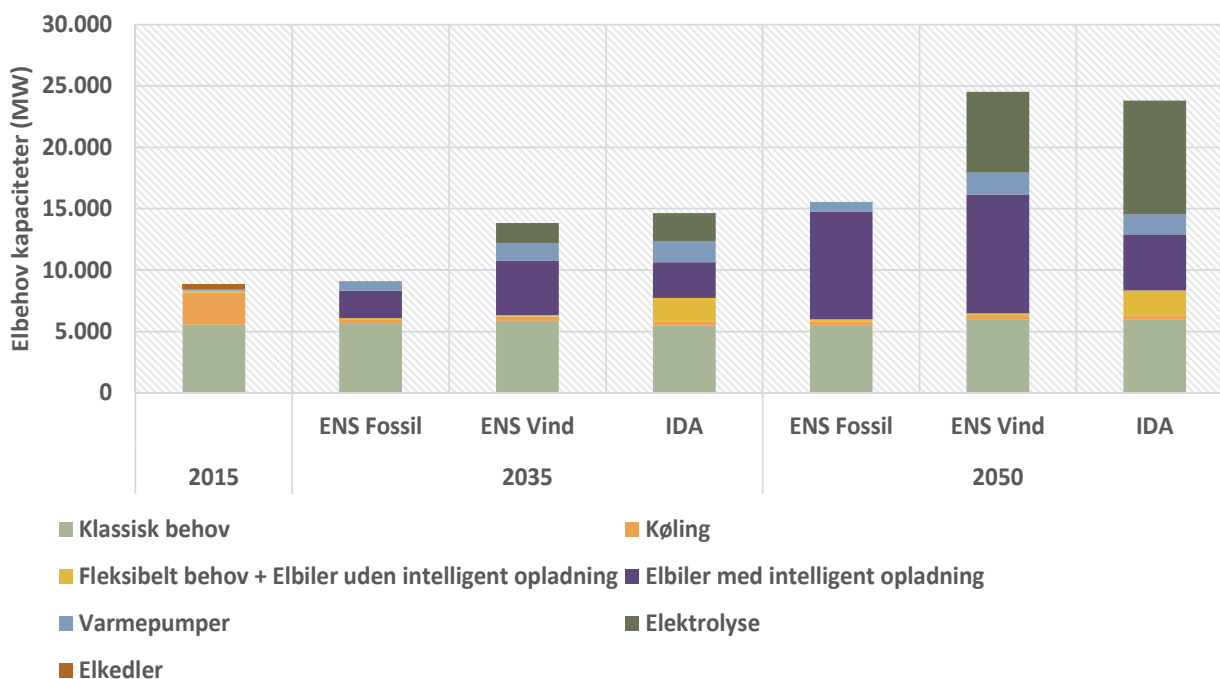
Figur 11: Elkapacitet for 2015referencen, 2035 og 2050 Energistyrelsen og IDA-scenarierne

Noget af elkapaciteten er kun relevant et par timer om året, hvilket fremgår af Figur 12. Langt størstedelen af elproduktionen (omkring 80%) i både DEA- og IDA 2050-scenarierne foregår på vedvarende energikilder, mens kraftværkerne benyttes, hvis sol eller vind ikke slår til.



Figur 12: Elproduktion i 2015-reference, 2035 og 2050 i Energistyrelsen og IDA-scenarierne

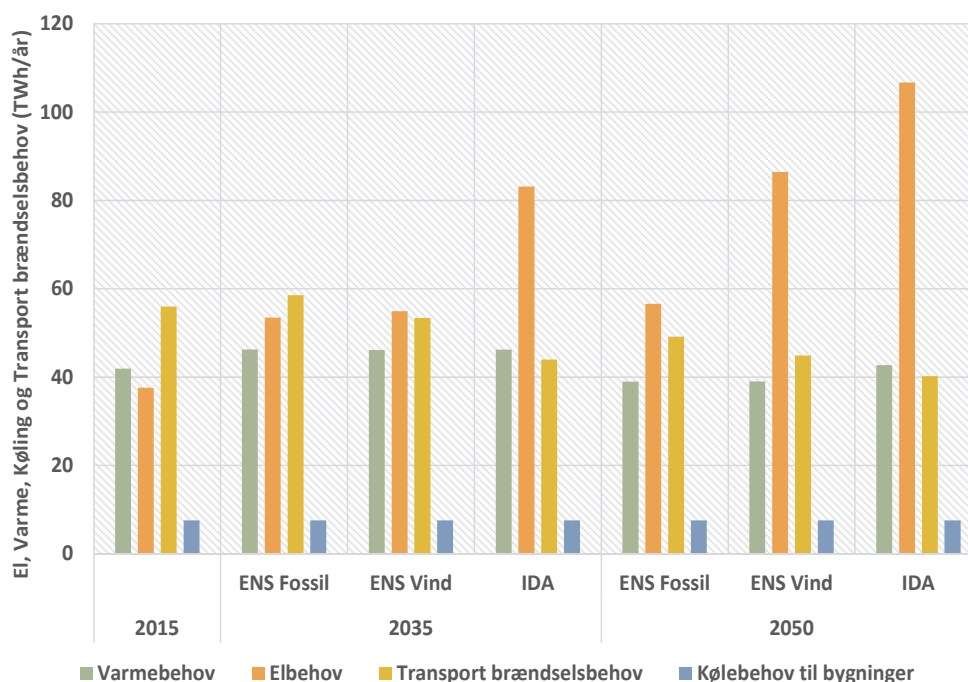
På forbrugssiden er der endvidere installeret nogle nøgleteknologier for at kunne garantere fleksibilitet i systemet. Forbrugskapaciteten fremgår af Figur 13.



Figur 13: Elforbrugskapacitet i 2015-reference, 2035 og 2050 Energistyrelsen og IDA-scenarierne

Det er tydeligt, at der her er en stor forskel, hvad elproduktionskapacitet angår, mellem hhv. de fossile scenarier og ENS- og IDA-scenarierne. Særligt i 2050 udvider varmepumper og elektrolysatorer systemets fleksibilitet, idet disse teknologier kan fungere som konverteringsteknologier, der forbinder de forskellige energisektorer såsom el- med hhv. varme-, transport- og gassektorerne. Der er flere fordele forbundet med at konvertere el til varme eller gas. For det første erstatter det øgede elforbrug efterspørgslen i andre sektorer, som ellers ville være blevet forsynet med biomasse eller fossile ressourcer. For det andet åbner overgangen fra el til en anden energibærer mulighed for billigere opbevaring i varme- og gasnetværkene. For det tredje kan elforbruget sikre en mere effektiv anvendelse af energiresourcer ved hjælp af varmepumper i stedet for kedler og eldrevne køretøjer i transportsektoren. Det er derfor centralt, at disse teknologier er installeret med henblik på tilstrækkelig fleksibilitet i systemet og overgangen til 100 % vedvarende ressourcer.

Den større afhængighed af el i fremtidens vedvarende energisystemer er vist i Figur 14. Her fremgår det, at varmebehovet meget ligner det, vi har i dag, idet den forventede vækst opvejes af de implementerede varmebesparelser. Kølebehovet er uforandret i scenarierne, mens transportbrændslerne er lavere i 2050-scenarierne sammenlignet med 2015-referencen. Dette bør ikke opfattes som en overordnet nedbringelse af transportbehovet, men snarere som en indikator for den øgede effektivitet i transportsektoren som følge af den betragtelige elektrificering af transporten i alle 2050-scenarierne. Endelig er elbehovet tre gange højere i IDA 2050-scenariet end i 2015-referencen på trods af energibesparelser i husholdningerne. Stigningen kommer pga. den øgede elektrificering af varme-, transport- og industriktoren. I takt med at mere fleksible og effektive teknologier bliver implementeret IDA 2025- og 2050-scenarierne, øges systemets effektivitet også. Det er denne overgang, som fører til en overordnet reduktion i behovet for primærenergi, men med øget elforbrug.



Figur 14: El-, varme-, kølings- og transportbrændselsbehov, eksklusivt konverteringstab i proces, transmission og distribution. NB: nogle behov bliver talt flere gange fx varme fra varmepumper pga. elbehov.

Sundhedseffekter

De samlede sundhedsmæssige udgifter kan beregnes med udgangspunkt i data vedrørende de sundhedsmæssige udgifter, som skyldes emissioner fra de forskellige typer teknologi, brændsel og placering af punktkilder. Udgifterne identificeres ved at tælle de tabte arbejdsdage, hospitalsindlæggelser, sundhedsskader, dødsfald osv. De sundhedsmæssige udgifter, som er medtaget her, er udelukkende baseret på de seks emissioner og indbefatter ikke de miljømæssige konsekvenser for naturen og dyrelivet eller omkostningerne forbundet med at bore efter brændsler og materialer på et andet kontinent, f.eks. i en kulmine i Sydafrika. Derfor er overslaget temmelig konservativt.

I IDA 2035 er de sundhedsmæssige udgifter blevet mindre som følge af energibesparelser, idet disse nedbringer kulforbruget i el-produktionen sammenlignet med ENS Fossil 2035. Ligeledes betyder overgangen til fjernvarme, geotermiske varmepumper og solenergi, at udgifterne forbundet med emissioner fra træafbrænding i de individuelle husholdninger er nedbragt. Disse tendenser fortsætter op til IDA 2050, hvor der introduceres yderligere konverteringer til biomasse og vedvarende energi i energisystemet, hvilket erstatter fast brændsel.

Herudover reduceres de sundhedsmæssige udgifter, der stammer fra transportsektoren, yderligere i IDAs scenarier, idet afhængigheden af biomasse er nedbragt. I IDA 2050 er de totale sundhedsomkostninger reduceret til ca. 0,6 € mia.. Bliver IDA Energivision 2050-initiativerne implementeret, forventes besparelser på omkring 0,9 € mia. i 2050, sammenlignet med ENS Fossil 2050 og ca. 0,1 € mia. i 2050, sammenlignet, med ENS vind 2050. Da de samlede udgifter er baseret på aktuelle emissionsfaktorer, skal det understreges, at denne type skøn kun giver en indikation på de samlede samfundsøkonomiske omkostninger.

Beskæftigelseseffekter

De potentielle beskæftigelseseffekter fra IDAs Energivision er blevet undersøgt og vurderet på baggrund af energisystemanalyserne. Selv i tilfælde af, at de forskellige scenarier ikke varierer ret meget for de samlede systemomkostningers vedkommende, kan forskellen i udgiftsstruktur få betydning for efterspørgslen på arbejdskraft herhjemme. Sammenlignet med de fossile scenarier bidrager både IDAs Energivision og ENS Vind-scenariet til øget omsætning på hjemmemarkedet. Denne øgede efterspørgsel herhjemme kan forventes at skabe flere arbejdspladser i den danske økonomi. Generelt flytter de vedvarende scenarier økonomiske midler fra brændselsrelaterede udgifter til investeringer i og udgifter til drifts- og vedligeholdelsesaktiviteter. Når pengene går til investeringer i produktionsenheder, infrastruktur, energibesparelser osv., medfører det typisk lavere importandele sammenlignet med håndteringen af fossile brændsler. Derfor kan der skabes flere arbejdspladser herhjemme for de samme penge.

Jobeffekten i 2050 er den samme for ENS Vind 2050 og IDA 2050 pga. lignende investeringsniveauer og udgiftsstrukturer. Analysen tyder på, at begge scenarier bidrager med 50.000 jobs om året sammenlignet med det fossile alternativ i 2050. Beregningerne viser, at den årlige jobeffekt i 2035 er 30.000 jobs højere om året for IDA 2035 sammenlignet med ENS Fossil 2035. ENS Vind 2035-scenariet bidrager med yderligere ca. 15.000 jobs om året sammenlignet med ENS Fossil 2035. Den højere jobeffekt i IDA 2035 i forhold til ENS Vind 2035 skyldes, at IDAs Energivision har en højere andel investeringer på dette tidspunkt, mens ENS Vind-scenariet allokerer mere kapital til brugen af fossile brændsler.

Den udførte beskæftigelsesanalyse konkluderer således, at 1) investering i et vedvarende energisystem skaber mere beskæftigelse og 2) jo tidligere disse investeringer foretages, jo tidligere opstår den positive beskæftigelseseffekt.

Tankegangen bag denne beskæftigelsesanalyse er baseret på en tilgang til beskæftigelse fra efterspørgselssiden. Derfor antages det også, at der vil være tilgængelig arbejdskraft. Eventuel mangel på arbejdskraft 35 år ude i fremtiden må betragtes som en ukendt faktor i dag. Hvis der de næste 35 år permanent er fuld beskæftigelse i den danske økonomi – hvilket i et historisk perspektiv må betragtes som usandsynligt – vil det være nødvendigt med en højere nettoimport af arbejdskraft i de vedvarende scenarier sammenlignet med de fossile scenarier. I en sådan 'worst-case'-situation, hvor den hjemlige arbejdskraft ikke slår til, vil et vedvarende energisystem blot skulle importere arbejdskraft i stedet for at importere brændsler, som det gøres i det fossile alternativ. For det fossile alternativ ville en 'worst-case'-situation med høj arbejdsledshed derimod blive yderligere graverende, da kapitalen ville skulle bruges på brændselsimport. I den forstand indebærer de vedvarende scenarier en mindre økonomisk risiko – og større muligheder.



